



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

DIFERENCIÁLNÍ KLADKOSTROJ

DIFFERENTIAL TACKLE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Daniel Poliak

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Daniel Poliak**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce: **doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Diferenciální kladkostroj

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh samosvorného diferenciálního kladkostroje včetně nosné konstrukce dle zadaných parametrů.
Výška zdvihu 4750 mm.
Nosnost 400 kg.

Cíle bakalářské práce:

Navrhnout samosvorný diferenciální kladkostroj s posouzením mezí bezpečnosti a samosvornosti.
Navrhnout nosnou konstrukci kladkostroje.
Provést důležité pevnostní výpočty a rozbor napjatosti vybraných dílů.
Vypracovat technickou zprávu.
Nakreslit sestavný výkres zařízení včetně důležitých detailů.

Seznam doporučené literatury:

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš (ed.). Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 9788021426290.

BIGOŠ, Peter, Jozef KULKA, Melichar KOPAS a Martin MANTIČ. Teória a stavba zdvíhacích a dopravných zariadení. Vyd. 1. Košice: TU v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2012. Edícia vedeckej a odbornej literatúry (Technická univerzita v Košiciach). ISBN 9788055311876.

POLÁK, Jaromír, Jiří PAVLISKA a Aleš SLÍVA. Dopravní a manipulační zařízení I. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2001. ISBN 8024800438.

KOVÁČ, Milan a Vladimír Klapita. Manipulácia s materiálom v doprave. 1. vyd. V Žiline: EDIS, 2003. ISBN 8080701741.

Leinveber, Jan a Pavel Vávra. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 1. vyd. Úvaly: Albra, 2003. ISBN 8086490742.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Táto bakalárska práca sa zaoberá konštrukčným návrhom a pevnostným výpočtom diferenciálneho kladkostroja. Kladkostroj je samosvorný o nosnosti 400 kg a výške zdvihu 4750 mm. Návrh je konštruovaný s ohľadom na bezpečnosť voči medznému stavu pružnosti. Práca ďalej obsahuje výpočtovú správu a výkresovú dokumentáciu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Diferenciálny kladkostroj, kladnica, kladka, reťazové koleso, samosvornosť, prevodový pomer

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the design and strength calculation of the differential hoist. The chain block is self-locking with a load capacity of 400 kg and a lifting height of 4750 mm. The design is projected with safety consideration to the flexibility limit state. The project also includes computational report and drawing documentation.

KEYWORDS

Differential hoist, pulley, sprocket, self-locking, gear ratio

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

POLIAK, D. *Diferenciální kladkostroj*. Brno, 2019. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 49 s. Vedúci diplomovej práce doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Týmto prehlasujem, že táto práca je mojim pôvodným dielom, spracoval som ju samostatne pod vedením doc. Ing. Jiřího Maláška, Ph.D. a s použitím literatúry uvedenej v zozname.

V Brne dňa 24. mája 2019

.....

Daniel Poliak

PODĚKOVÁNÍ

Moje poďakovanie patrí pánovi doc. Ing. Jiřímu Maláškoví, Ph.D. za cenné rady a podporu pri písaní mojej bakalárskej práce. Zároveň by som sa rád poďakoval svojej rodine a priateľom za podporu počas môjho štúdia na vysokej škole.

OBSAH

Úvod.....	9
1 Základný návrh.....	10
1.1 Voľba reťaze.....	10
1.2 Návrh dvojitej kladky.....	11
1.3 Návrh voľnej kladky.....	14
2 Návrh dolnej kladnice.....	15
2.1 Hák.....	15
2.2 Priečnik.....	16
2.3 Bočnica.....	22
2.4 Čap.....	25
2.5 Celkové zaťaženie od dolnej kladnice.....	26
3 Návrh hornej kladnice.....	29
3.1 Čap.....	30
3.2 Bočnica.....	33
3.3 Priečnik.....	36
3.5 Hák.....	41
4 Návrh nosnej konštrukcie.....	42
Záver.....	43
Použité informačné zdroje.....	44
Zoznam použitých skratiek a symbolov.....	45
Zoznam príloh.....	49

ÚVOD

Kladkostroj je systém pevných a voľných kladiek prepojených lanom alebo reťazou, ktorý využíva ich účinky a vzájomne ich kombinuje. Má za účel znižovať silu pôsobiacu v lane alebo v reťazi tým, že ju rozloží na jednotlivé pramene lana (časti reťaze).

Diferenciálny kladkostroj patrí k starším druhom kladkostrojov. V dnešnej dobe je už tento typ kladkostroja využívaný len veľmi zriedkavo, napriek jeho jednoduchosti a výhodnej funkcii samosvornosti. Jeho použitie môžeme ojedinele vidieť v domácich dielňach a autoopravovniach.

Výhody diferenciálneho (Westonovho) kladkostroja sú jeho značný prevod, samosvornosť a jednoduchá konštrukcia. Nevýhoda je pomerne rýchle opotrebovanie reťaze.

1 ZÁKLADNÝ NÁVRH

Vo všeobecnosti sa jedná sa o jednoduchý stroj určený k zdvíhaniu ťažkých bremien alebo na montážne práce s použitím ručného alebo elektrického pohonu.

Konštrukcia kladkostroja pozostáva z dvoch hlavných častí, voľnej kladnice a pevnej kladnice. Ako hnací a zdvíhací prvok je použitá článková zváraná reťaz. Celý kladkostroj je zavesený pomocou háku na nosnej konštrukcii. Háč je uchytený pomocou matice o priechnik a jeho otáčanie zabezpečuje klzná podložka. Na priečnik sú zavesené dve bočnice, ktoré ho spájajú z čapom kladky.

Predpokladané hmotnosti jednotlivých častí sú volené na základe 3D modelov v programe Autodesk Inventor Profesional 2016 Student version.

1.1 VOĽBA REŤAZE

Reťaz kladkostroja je namáhaná tiažou bremena a hmotnosťou dolnej kladnice. V tomto bode je uvažované zaťaženie len od bremena. Zaťaženie od dolnej kladnice je zohľadnené v ďalšej časti.

ZAŤAŽENIE OD BREMENA

$$Q_b = m_b \cdot g \quad (1.1)$$

$$Q_b = 400 \cdot 9,807$$

$$Q_b = 3922,66 \text{ N}$$

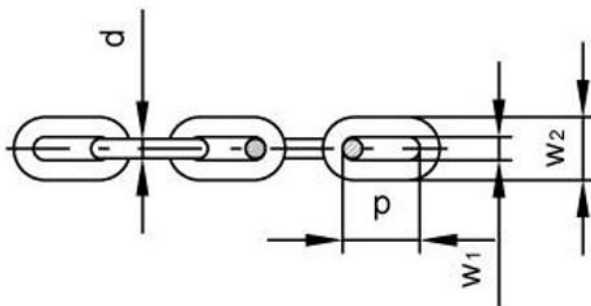
DOVOLENÉ ZAŤAŽENIE REŤAZE

Ručný kladkostroj musí podľa [3] mať súčiniteľ bezpečnosti minimálne 4. V tejto práci je volený súčiniteľ bezpečnosti $k = 6$ z dôvodu zjednodušenia výpočtu. V práci je zanedbaný vplyv vrubov z dôvodu ich relatívne nízkeho pôsobenia.

$$Q_{dov} = \frac{Q_b \cdot k}{i} \quad (1.2)$$

$$Q_{dov} = \frac{3922,66 \cdot 6}{2}$$

$$Q_{dov} = 11767,98 \text{ N}$$



Obr. 1 Rozmery reťaze

Řetězy pro kladkostroje ČSN EN 818-7

tloušťka	rozteč	šířka		hmotnost kg/m	nosnost t		zkušební síla	trhací síla
		vnitřní	vnější		provedení T	provedení DAT		
d	t	w1	w2	kg/m	kg	kg	kN	kN
mm	mm	mm	mm	kg/m	kg	kg	kN	kN
4	12	4,8	13,6	0,35	0,5	0,4	12,6	20,1
5	15	6	17	0,54	0,8	0,63	19,9	31,4
6	18	7,2	20,4	0,8	1,1	0,9	28,3	45,2

Obr. 2 Tabuľka rozmerov reťaze

Na základe dovoleného zaťaženia reťaze je volená reťaz ČSN EN 818-7 4x12.

Dĺžka reťaze

$$l_{r \min} = 4h_z + \frac{\pi(D_m + D_v + D_{dk})}{2} \quad (1.3)$$

$$l_{r \min} = 4 \cdot 4,75 + \frac{\pi(0,13 + 0,138 + 0,08)}{2}$$

$$l_{r \min} = 19,55 \text{ m}$$

Dĺžka reťaze je volená $l_r = 20 \text{ m}$

Hmotnosť reťaze

$$m_r = m_{rm} \cdot l_r \quad (1.4)$$

$$m_r = 0,35 \cdot 20$$

$$m_r = 7 \text{ kg}$$

Zaťaženie od reťaze

$$Q_r = m_r \cdot g \quad (1.5)$$

$$Q_r = 6,841 \cdot 9,807$$

$$Q_r = 68,65 \text{ N}$$

1.2 NÁVRH DVOJITEJ KLADKY

Minimálny počet zubov kladiiek dvojitej kladky kladkostroja je daný podmienkou samosvornosti. Ďalej na počet zubov vplýva požadovaný vysoký prevodový pomer kvôli ručnému ovládaniu. Počet zubov väčšej kladky reťazového kola je volený $z_v = 18$, počet zubov menšej kladky reťazového kola je volený $z_m = 17$. Podľa [1] je volená účinnosť reťazovej kladky $\eta_k = 0,95$.

SILA ZDVIHU

$$F_z = \frac{Q \cdot \eta_k}{1 + \eta_k} \left(\frac{1}{\eta_k^2} - \frac{z}{Z} \right) \quad (1.6)$$

$$F_z = \frac{3922,66 \cdot 0,95}{1 + 0,95} \left(\frac{1}{0,95^2} - \frac{17}{18} \right)$$

$$F_z = 313,94 \text{ N}$$

TEORETICKÁ ÚČINNOST KLADKOSTROJA

$$\eta_t = \frac{\left(1 - \frac{z}{Z}\right)(1 + \eta_k)}{2\eta_k \left(\frac{1}{\eta_k^2} - \frac{z}{Z}\right)} \quad (1.7)$$

$$\eta_t = \frac{\left(1 - \frac{17}{18}\right)(1 + 0,95)}{2 \cdot 0,95 \left(\frac{1}{0,95^2} - \frac{17}{18}\right)}$$

$$\eta_t = 0,3485$$

PODMIENKA SAMOSVORNOSTI

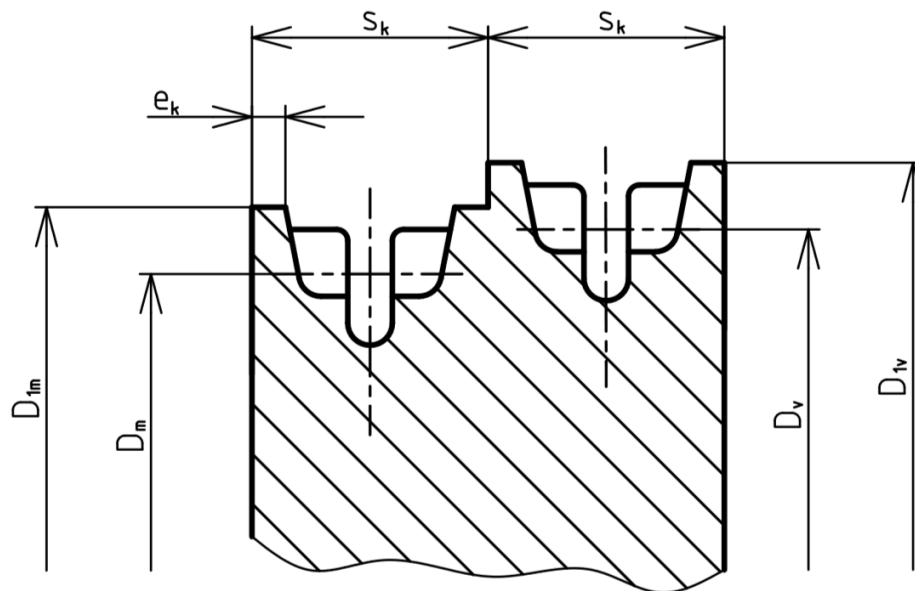
$$\eta_k^2 \leq \frac{z}{Z} \quad (1.8)$$

$$0,95^2 \leq \frac{17}{18}$$

$$0,9025 \leq 0,9\bar{4}$$

Kladkostroj splňa podmienku samosvornosti.

VÄČŠIE REŤAZOVÉ KOLESO



Obr. 3 Rez dvojitou kladkou

Priemer roztečnej kružnice

$$D_v = \sqrt{\left(\frac{t_r}{\sin\left(\frac{90^\circ}{z_v}\right)}\right)^2 + \left(\frac{d_r}{\cos\left(\frac{90^\circ}{z_v}\right)}\right)^2} \quad (1.9)$$

$$D_v = \sqrt{\left(\frac{12}{\sin\left(\frac{90^\circ}{18}\right)}\right)^2 + \left(\frac{4}{\cos\left(\frac{90^\circ}{18}\right)}\right)^2}$$

$$D_v = 137,74 \text{ mm}$$

Vonkajší priemer kladky

$$D_{1v} = D_v + w_{2r} \quad (1.10)$$

$$D_{1v} = 137,74 + 13,6$$

$$D_{1v} = 151,34 \text{ mm}$$

Šírka steny kladky

$$e_k = 0,4d_r + 2 \quad (1.11)$$

$$e_k = 0,4 \cdot 4 + 2$$

$$e_k = 3 \text{ mm}$$

Zaťaženie od dolnej kladky

$$Q_{dk} = m_{dk} \cdot g \quad (1.12)$$

$$Q_{dk} = 0,412 \cdot 9,807$$

$$Q_{dk} = 4,04 \text{ N}$$

MENŠIE REŤAZOVÉ KOLESO

Priemer roztečnej kružnice

$$D_m = \sqrt{\left(\frac{t_r}{\sin\left(\frac{90^\circ}{z_m}\right)}\right)^2 + \left(\frac{d_r}{\cos\left(\frac{90^\circ}{z_m}\right)}\right)^2} \quad (1.13)$$

$$D_m = \sqrt{\left(\frac{12}{\sin\left(\frac{90^\circ}{17}\right)}\right)^2 + \left(\frac{4}{\cos\left(\frac{90^\circ}{17}\right)}\right)^2}$$

$$D_m = 130,12 \text{ mm}$$

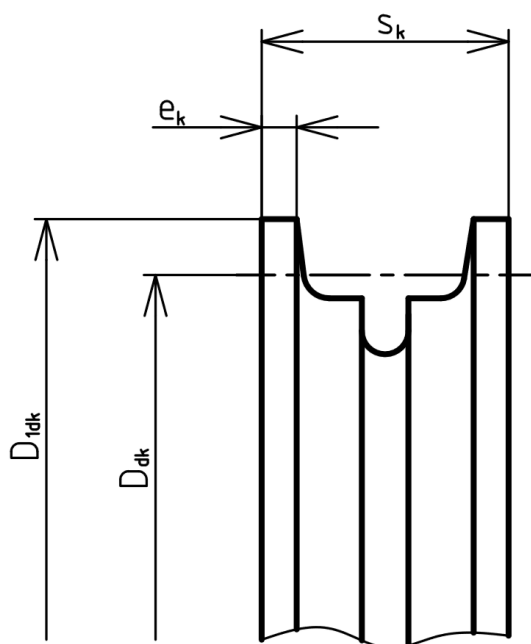
Vonkajší priemer kladky

$$D_{1m} = D_m + w_{2r} \quad (1.14)$$

$$D_{1m} = 130,12 + 13,6$$

$$D_{1m} = 143,72 \text{ mm}$$

1.3 NÁVRH VOĽNEJ KLADKY



Obr. 4 Voľná kladka

Priemer roztečnej kružnice

$$D_{dk} = 20d \quad (1.15)$$

$$D_{dk} = 20 \cdot 4$$

$$D_{dk} = 80 \text{ mm}$$

Vonkajší priemer kladky

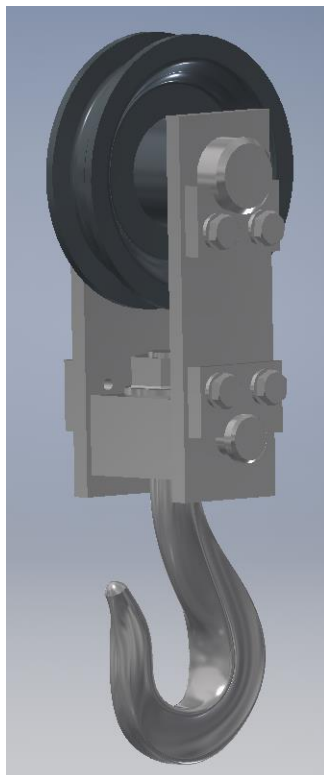
$$D_{1dk} = D_{dk} + w_{2r} \quad (1.16)$$

$$D_{1dk} = 80 + 13,6$$

$$D_{1dk} = 93,6 \text{ mm}$$

2 NÁVRH DOLNEJ Kladnice

Dolná kladnica sa skladá z vodiacej kladky, čapu, klzného ložiska, bočníc, priečniku, matice a háku. Základom tejto kladnice je voľná kladka. Dolná kladnica je voľne zavesená na reťazi.



Obr. 5 Dolná kladnica

2.1 HÁK

Podľa [5] je volená skupina prevádzky žeriavu 1Bm na základe bližšie nešpecifikovaného použitia kladkostroja. Na základe tejto skupiny je volený hák zo závitom podľa [4] č. 012, pevnostná trieda S. [6] S hákom je dodávaná matica a zaistenie matice.

Zaťaženie hmotnosťou háku

$$Q_{dh} = m_{dh} \cdot g \quad (2.1)$$

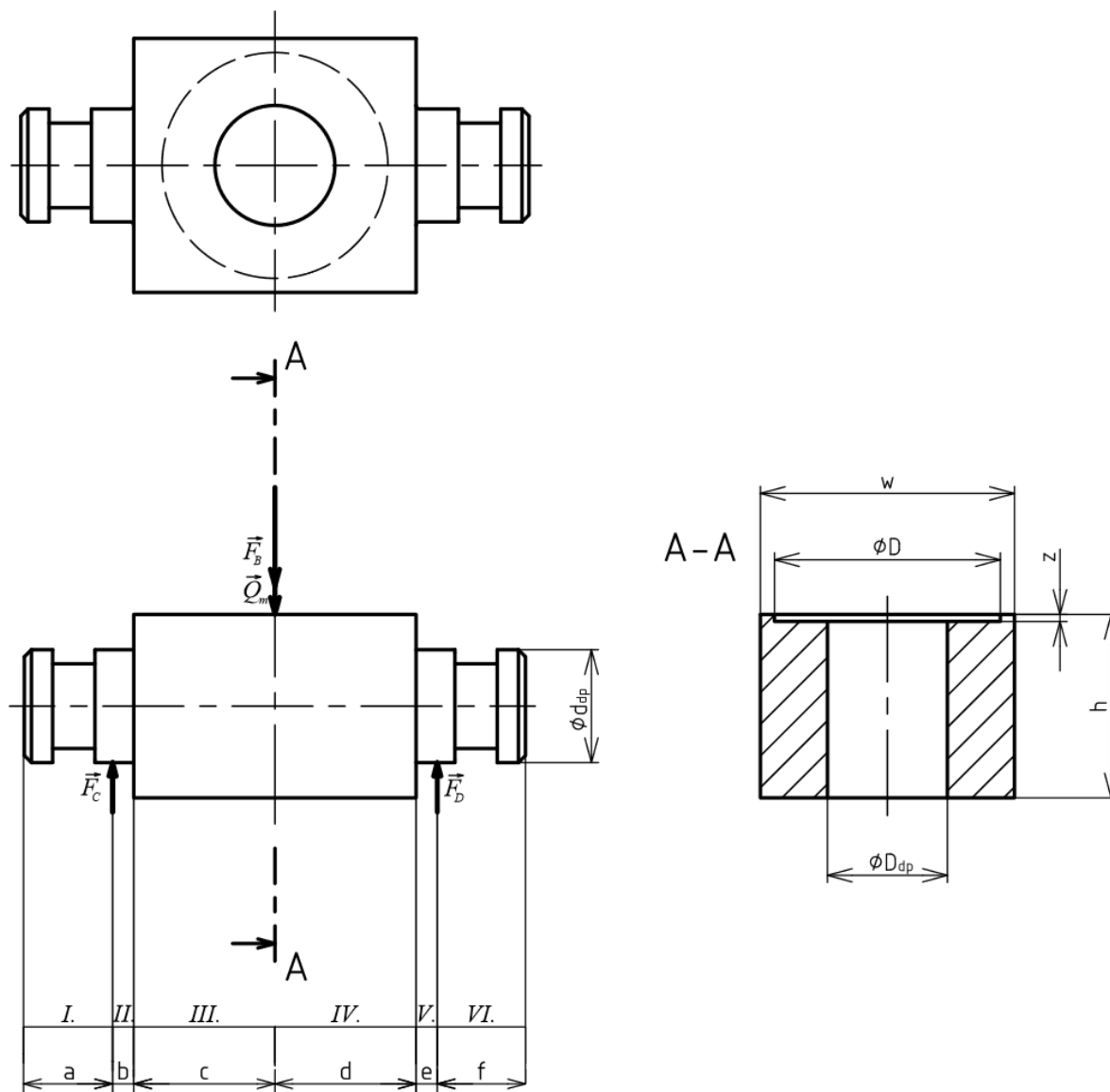
$$Q_{dh} = 0,316 \cdot 9,807$$

$$Q_{dh} = 3,099 \text{ N}$$

2.2 PRIEČNIK

Materiál priečniku je volená oceľ S355J2 (1.0577). Medza klzu tejto ocele je $R_e = 345 \text{ MPa}$.

ZAŤAŽENIE PRIEČNIKU



Obr. 6 Priečnik dolnej kladnice

Dané:

$h = 24 \text{ mm}$; $z = 1 \text{ mm}$; $\phi D_{dp} = 17 \text{ mm}$; $w = 36 \text{ mm}$; $\phi D = 32 \text{ mm}$; $\phi d_{dp} =$; $a = f = 13 \text{ mm}$; $b = e = 3 \text{ mm}$; $c = d = 20 \text{ mm}$

$$F_B = F_A = 3925,76 \text{ N}$$

$$\sum F_x = 0:$$

$$\sum F_z = 0: \quad F_C - Q_m - F_B + F_D = 0$$

$$\sum M_B = 0: \quad F_D(b + c + d + e) - (F_B + Q_m)(b + c) = 0$$

$$F_D = (F_B + Q_m) \frac{b+c}{b+c+d+e}$$

$$F_D = (3925,76 + 0,33) \frac{3+20}{3+20+20+3}$$

$$F_D = 1963,05 \text{ N}$$

$$F_C = F_B + Q_m - F_D$$

$$F_C = 3925,76 + 0,33 - 1963,05$$

$$F_C = 1963,05 \text{ N}$$

Rezy v oblastiach I. a VI. sú pre výpočet nepodstatné.

REZ V OBLASTI II.:

$$x_2 \in \langle 0; b \rangle$$

$$N_2 = 0$$

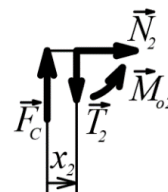
$$T_2 = F_C$$

$$T_2 = 1963,05 \text{ N}$$

$$M_{o_2} = F_C x_2$$

$$M_{o_2} = 1963,05 \cdot 3$$

$$M_{o_2} = 5889,15 \text{ Nmm}$$



REZ V OBLASTI III.:

$$x_3 \in \langle 0; c \rangle$$

$$N_3 = 0$$

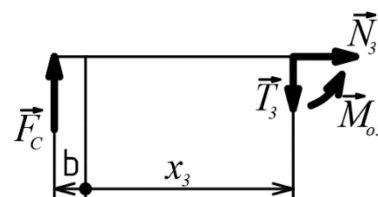
$$T_3 = F_C$$

$$T_3 = 1963,05 \text{ N}$$

$$M_{o_3} = F_C(b + x_3)$$

$$M_{o_3} = 1963,05(3 + 20)$$

$$M_{o_3} = 45150,15 \text{ Nmm}$$



REZ V OBLASTI IV.:

$$x_4 \in \langle 0; d \rangle$$

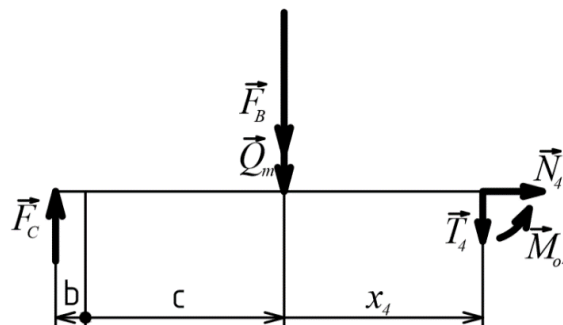
$$N_4 = 0$$

$$T_4 = F_C - Q_m - F_B$$

$$T_4 = 1963,02 - 0,33 - 3925,76$$

$$T_4 = -1963,05 \text{ N}$$

$$M_{o_4} = F_C(b + c + x_4) - (F_B + Q_m)x_4$$



$$M_{o_4} = 1963,05(3 + 20 + 20) - 20(3925,76 + 0,33)$$

$$M_{o_4} = 5889,15 \text{ Nmm}$$

REZ V OBLASTI V:

$$x_5 \in \langle 0; e \rangle$$

$$N_5 = 0 \text{ N}$$

$$T_5 = F_C - Q_m - F_B$$

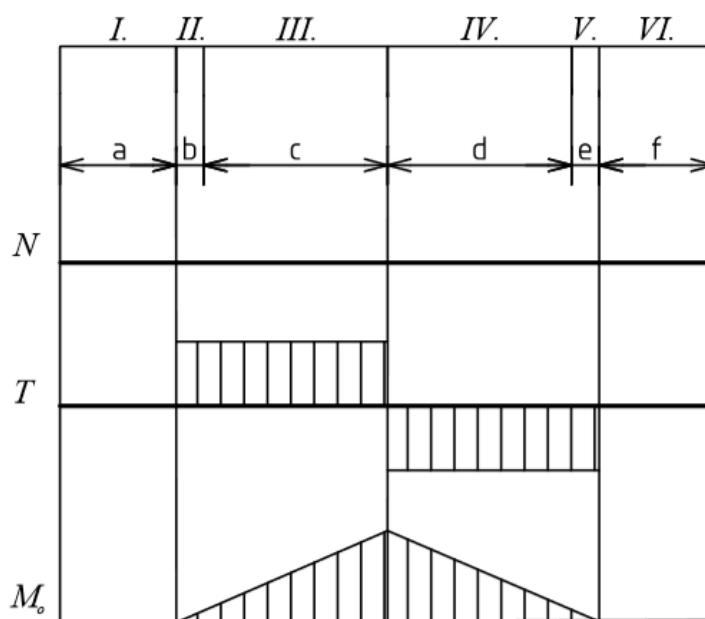
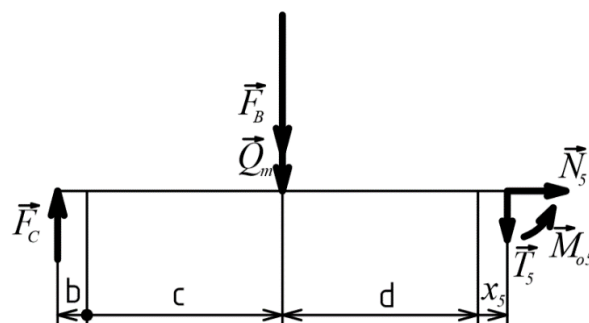
$$T_5 = 1963,05 - 0,33 - 3925,76$$

$$T_5 = -1963,05 \text{ N}$$

$$M_{o_4} = F_C(b + c + d + x_5) - (F_B + Q_m)(d + x_5)$$

$$M_{o_4} = 1963,2(3 + 20 + 20 + 3) - (3926,08 + 0,33)(20 + 3)$$

$$M_{o_3} = 0 \text{ Nmm}$$



Obr. 7 VWU priečniku dolnej kladnice

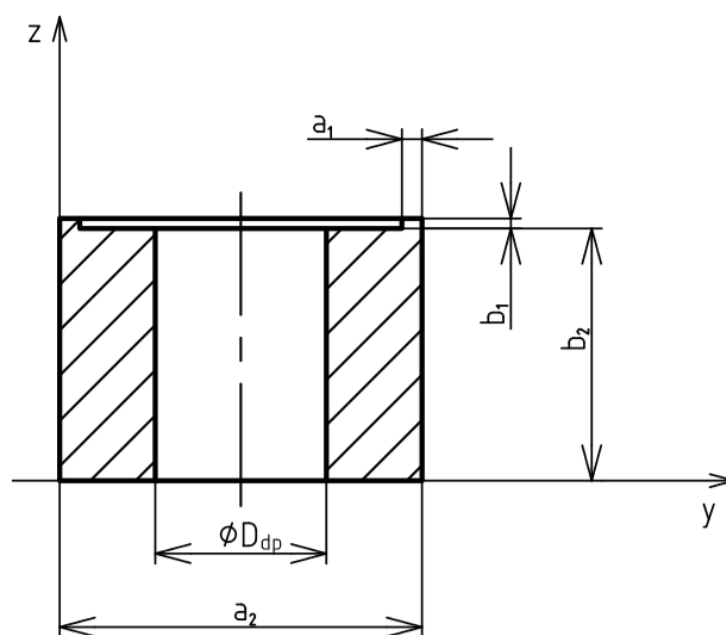
Dovolené napätie v ohybe

$$\sigma_{o \text{ dov } dp} = 0,7 \cdot \frac{R_{e \text{ dp}}}{k} \quad (2.2)$$

$$\sigma_{o \text{ dov } dp} = 0,7 \cdot \frac{345}{6}$$

$$\sigma_{o \text{ dov } dp} = 40,25 \text{ MPa}$$

Následne bol pomocou Štajnerovej vety určený ohybový moment prierezu a overená pevnosť.



Obr. 8 Kritický prierez priečniku dolnej kladnice

Dané:

$a_1 = 2 \text{ mm}$; $b_1 = 1 \text{ mm}$; $a_2 = 36 \text{ mm}$; $b_2 = 23 \text{ mm}$;

Určenie ťažiska

$$T_{z\ dp} = \frac{2a_1b_1\left(b_2 + \frac{b_1}{2}\right) + (a_2 - D_{dp})b_2\frac{b_2}{2}}{a_1b_1 + (a_2 - D_{dp})b_2} \quad (2.3)$$

$$T_{z\ dp} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 1 \cdot \left(23 + \frac{1}{2}\right) + (36 - 17) \cdot 23 \cdot \frac{23}{2}}{2 \cdot 1 + (36 - 17) \cdot 23}$$

$$T_{z\ dp} = 11,61 \text{ mm}$$

Určenie vzdialenosti ťažísk jednotlivých plôch od ťažiska prierezu

$$t_{1\ dp} = b_2 + \frac{b_1}{2} - T_{z\ dp} \quad (2.4)$$

$$t_{1\ dp} = 23 + \frac{1}{2} - 11,61$$

$$t_{1\ dp} = 11,89 \text{ mm}$$

$$t_{2\ dp} = T_{z\ dp} - \frac{b_2}{2} \quad (2.5)$$

$$t_{2\ dp} = 11,61 - \frac{23}{2}$$

$$t_{2\ dp} = 0,11 \text{ mm}$$

Určenie kvadratického momentu prierezu k osi y

$$J_{y\ dp} = \frac{a_1 b_1^3}{12} + a_1 b_1 t_1^2 + \frac{(a_2 - D_{dp}) b_2^3}{12} + (a_2 - D_{dp}) b_2 t_2^2 \quad (2.6)$$

$$J_{y\ dp} = \frac{2 \cdot 1^3}{12} + 2 \cdot 1 \cdot 11,89^2 + \frac{(36 - 17) \cdot 23^3}{12} + (36 - 17) \cdot 23 \cdot 0,11^2$$

$$J_{y\ dp} = 19552,56 \text{ mm}^4$$

Určenie vzdialenosti krajných vlákien od ťažiska

$$e_{1\ dp} = t_1 + \frac{b_1}{2} \quad (2.7)$$

$$e_{1\ dp} = 11,89 + \frac{1}{2}$$

$$e_{1\ dp} = 12,39 \text{ mm}$$

$$e_{2\ dp} = t_2 + \frac{b_2}{2} \quad (2.8)$$

$$e_{2\ dp} = 0,11 + \frac{23}{2}$$

$$e_{2\ dp} = 11,61 \text{ mm}$$

Určenie prierezových modulov

$$W_{o1\ dp} = \frac{J_y}{e_1} \quad (2.9)$$

$$W_{o1\ dp} = \frac{19552,56}{12,39}$$

$$W_{o1\ dp} = 1577,94 \text{ mm}^3$$

$$W_{o2\ dp} = \frac{J_y}{e_2} \quad (2.10)$$

$$W_{o2\ dp} = \frac{19552,56}{11,61}$$

$$W_{o2\ dp} = 1684,28 \text{ mm}^3$$

Určenie napätí v krajných vláknach

$$\sigma_{o1\ dp} = \frac{M_{o3}}{W_{o\ dp1}} \quad (2.11)$$

$$\sigma_{o1\ dp} = \frac{45149,95}{1577,94}$$

$$\sigma_{o1\ dp} = 28,61 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{o2\ dp} = \frac{M_{o3}}{W_{o\ dp2}} \quad (2.12)$$

$$\sigma_{o2 dp} = \frac{45149,95}{1684,28}$$

$$\sigma_{o2 dp} = 26,81 \text{ MPa}$$

Zaťaženie od priečniku

$$Q_{dp} = m_{dp} \cdot g \quad (2.13)$$

$$Q_{dp} = 0,271 \cdot 9,807$$

$$Q_{dp} = 2,658 \text{ N}$$

Zaťaženie bočnice

$$F_C = \frac{F_B + Q_{dp}}{2} \quad (2.14)$$

$$F_C = \frac{3926,08 + 2,66}{2}$$

$$F_C = 1964,37 \text{ N}$$

KONTROLA NA STRIH A OTLAČENIE

Dovolené napätie v strihu

$$\tau_{dov dp} = 0,4 \cdot \frac{R_{e dp}}{k} \quad (2.15)$$

$$\tau_{dov dp} = 0,4 \cdot \frac{265}{6}$$

$$\tau_{dov dp} = 17,67 \text{ MPa}$$

Skutočné napätie v strihu

$$\tau_{skut dp} = \frac{4F_C}{\pi \cdot d_{dp}^2} \quad (2.16)$$

$$\tau_{skut dp} = \frac{4 \cdot 1963,05}{\pi \cdot 16^2}$$

$$\tau_{skut dp} = 9,76 \text{ MPa}$$

Dovolené otláčenie

$$p_{dov dp} = 0,9 \frac{R_{e dp}}{k} \quad (2.17)$$

$$p_{dov dp} = 0,9 \frac{265}{6}$$

$$p_{dov dp} = 39,75 \text{ MPa}$$

Skutočné otláčenie

$$p_{skut dp} = \frac{F_C}{d_{dp} \cdot t_{ab}} \quad (2.18)$$

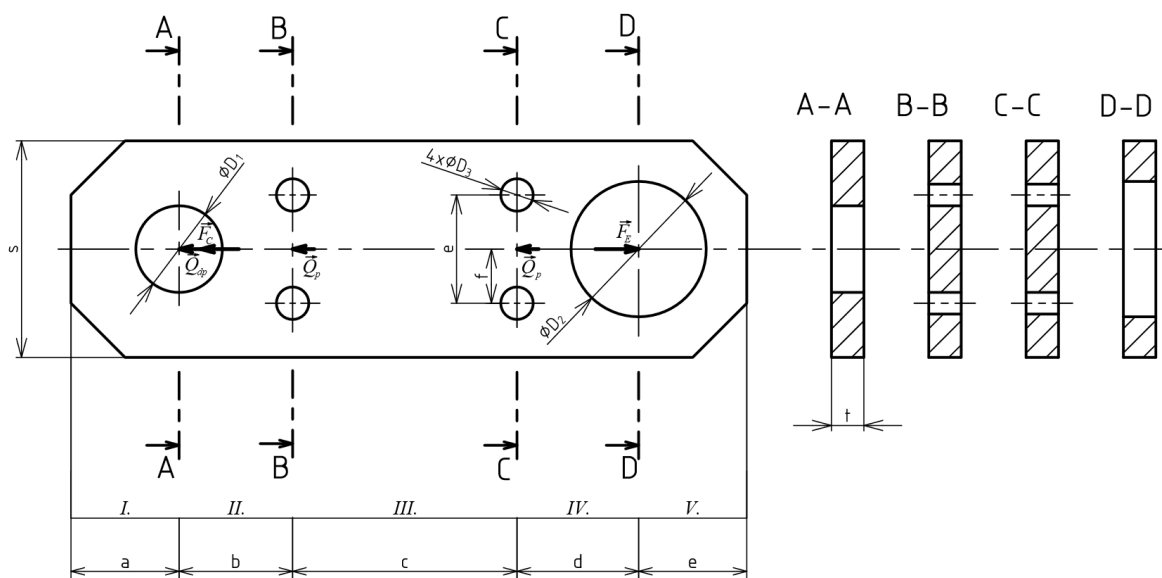
$$p_{skut dp} = \frac{1963,05}{16 \cdot 6}$$

$$p_{skut dp} = 20,45 \text{ MPa}$$

2.3 BOČNICA

Materiál bočnice je volená oceľ S355J2 (1.0577). Medza klzu tejto ocele je $R_e = 225 \text{ MPa}$.

ZAŤAŽENIE BOČNICE



Obr. 9 Bočnica dolnej kladnice

Dané:

$a = 20 \text{ mm}$; $b = 21 \text{ mm}$; $c = 41,5 \text{ mm}$; $d = 22,5 \text{ mm}$; $e = 20 \text{ mm}$; $f = 10 \text{ mm}$; $s = 40 \text{ mm}$;
 $\varnothing D_1 = 16 \text{ mm}$; $\varnothing D_2 = 25 \text{ mm}$; $t = 6 \text{ mm}$;

Zaťaženie od hmotnosti poistky a skrutiek

$$Q_p = Q_{pd} + 2Q_{ps} \quad (2.19)$$

$$Q_p = 0,3236 + 2 \cdot 0,049$$

$$Q_p = 0,4216 \text{ N}$$

$$\sum F_x = 0: \quad -\frac{Q_{dp}}{2} - F_C - Q_p - Q_p + F_E = 0$$

$$F_E = \frac{2,66}{2} + 1963,05 + 2 \cdot 0,42$$

$$F_E = 1965,22 \text{ N}$$

$$\sum F_z = 0:$$

$$\sum M_B = 0:$$

Rezy v oblastiach I. a V. sú pre výpočet nepodstatné.

REZ V OBLASTI II.:

$$x_2 \in \langle 0; b \rangle$$

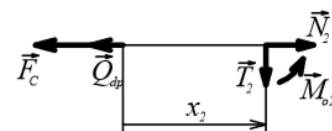
$$N_2 = F_C + \frac{Q_{dp}}{2}$$

$$N_2 = 1963,05 + \frac{2,66}{2}$$

$$N_2 = 1964,38 \text{ N}$$

$$T_2 = 0$$

$$M_{o_2} = 0$$



REZ V OBLASTI III.:

$$x_3 \in \langle 0; c \rangle$$

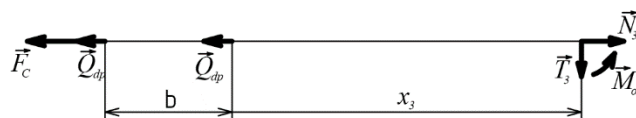
$$N_3 = F_C + \frac{Q_{dp}}{2} + Q_p$$

$$N_3 = 1963,2 + \frac{2,66}{2} + 0,42$$

$$N_3 = 1964,8 \text{ N}$$

$$T_3 = 0$$

$$M_{o_3} = 0$$



REZ V OBLASTI IV.:

$$x_4 \in \langle 0; d \rangle$$

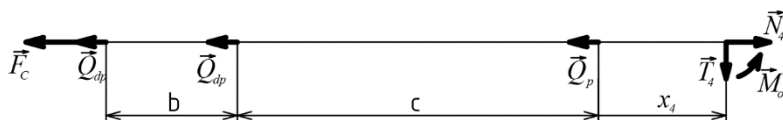
$$N_4 = F_C + \frac{Q_{dp}}{2} + Q_p + Q_p$$

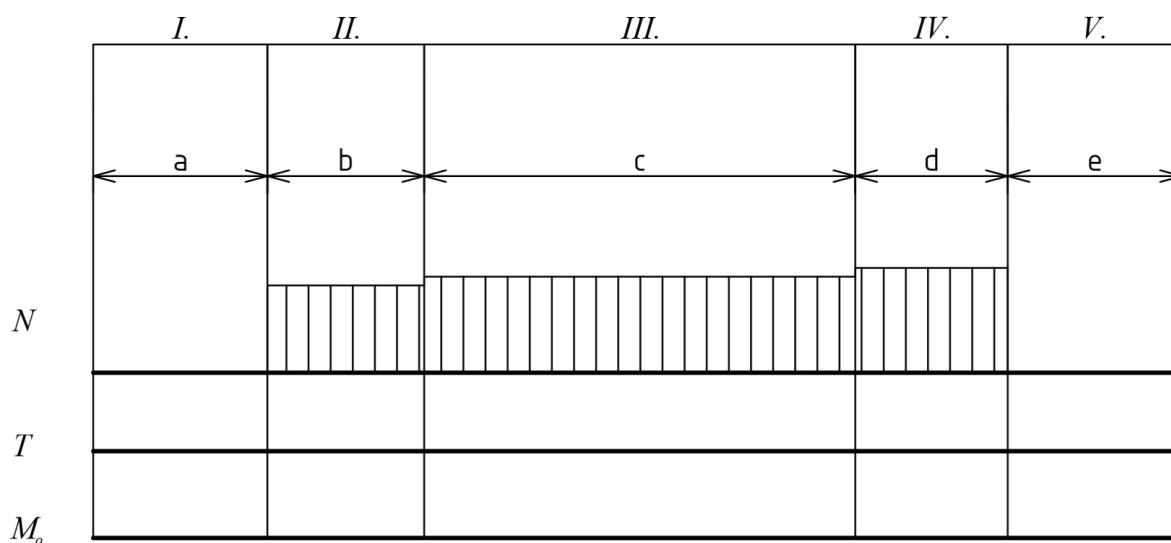
$$N_4 = 1963,2 + \frac{2,66}{2} + 0,42 + 0,42$$

$$N_4 = 1965,22 \text{ N}$$

$$T_4 = 0$$

$$M_{o_4} = 0$$





Obr. 10 VUV bočnice dolnej kladnice

Maximálne dovolené napätie

$$\sigma_{dov db} = 0,6 \frac{R_{e db}}{k} \quad (2.20)$$

$$\sigma_{dov db} = 0,6 \frac{225}{6}$$

$$\sigma_{dov db} = 22,5 \text{ MPa}$$

Skutočné napätie v ťahu

$$\sigma_{skut db} = \frac{N_4}{t_{db} \cdot s_{db}} \quad (2.21)$$

$$\sigma_{skut db} = \frac{1965,22}{6 \cdot (40 - 25)}$$

$$\sigma_{skut db} = 21,84 \text{ MPa}$$

Zaťaženie od hmotnosti bočnice

$$Q_{db} = m_{db} \cdot g \quad (2.22)$$

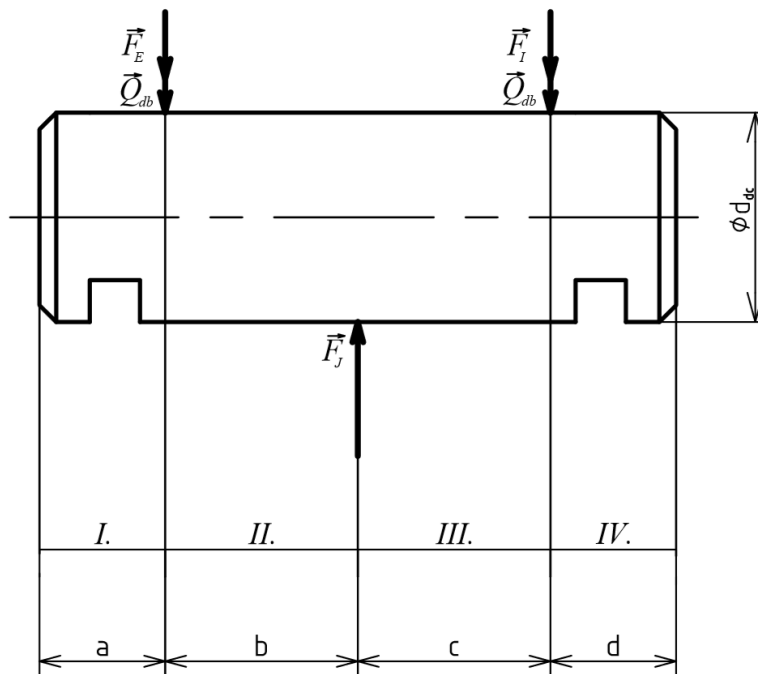
$$Q_{db} = 0,203 \cdot 9,807$$

$$Q_{db} = 1,991 \text{ N}$$

2.4 ČAP

Materiál čapu je volená oceľ E335 (1.0060). Medza klzu tejto ocele je $R_e = 325 \text{ MPa}$.

ZAŤAŽENIE ČAPU



Obr. 11 Čap dolnej kladnice

Dané:

$$a = d = 9 \text{ mm}; b = c = 23 \text{ mm}; \phi d_{dc} = 25 \text{ mm}$$

$$\sum F_x = 0:$$

$$\sum F_z = 0: -F_E - Q_{db} + F_J - F_I - Q_{db} = 0$$

$$\sum M_E = 0: F_J b - (F_I + Q_{db})(b + c) = 0$$

$$F_J = (F_I + Q_{db}) \frac{b+c}{b}$$

$$F_J = (1965,22 + 1,99) \frac{23+23}{23}$$

$$F_J = 3934,42 \text{ N}$$

Rezy v oblastiach I. a IV. sú pre výpočet nepodstatné.

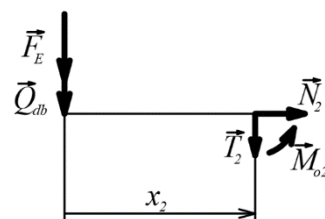
REZ V OBLASTI II.:

$$x_2 \in \langle 0, b \rangle$$

$$N_2 = 0$$

$$T_2 = -F_E - Q_{db}$$

$$T_2 = -1965,22 - 1,99$$



$$T_2 = -1967,21 \text{ N}$$

$$M_{o_2} = -(F_E + Q_{db})x_2$$

$$M_{o_2} = -(1965,22 + 1,99)23$$

$$M_{o_2} = -45245,83 \text{ Nmm}$$

REZ V OBLASTI III.:

$$x_3 \in \langle 0, c \rangle$$

$$N_3 = 0$$

$$T_3 = -F_E - Q_{db} + F_j$$

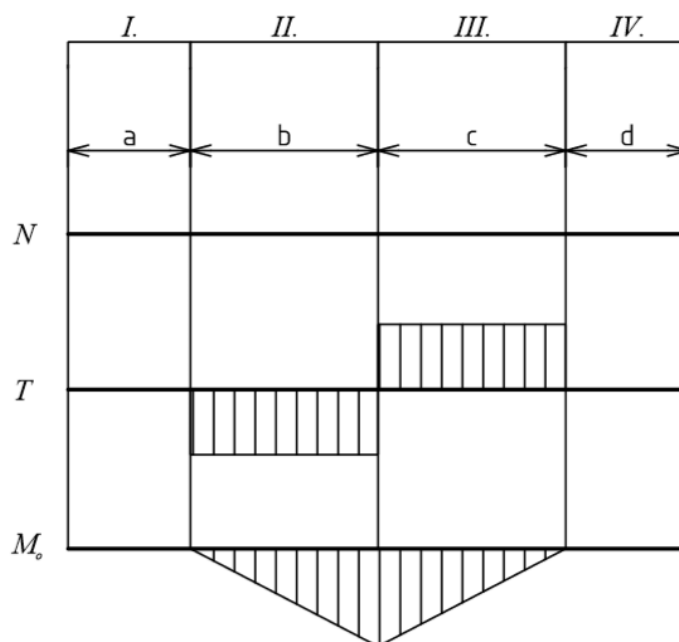
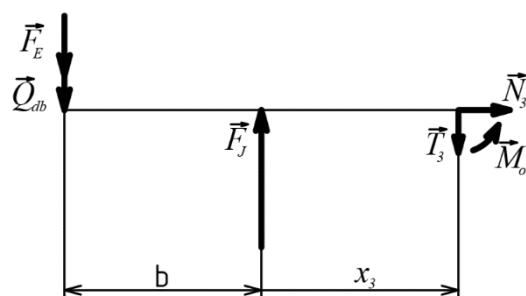
$$T_3 = -1965,22 - 1,99 + 3934,42$$

$$T_3 = 1965,22 \text{ N}$$

$$M_{o_3} = -(F_E + Q_{db})(b + x_3) + F_j x_3$$

$$M_{o_3} = -(1964,48 + 1,99)(23 + 23) + 3932,94 \cdot 23$$

$$M_{o_3} = 0 \text{ Nmm}$$



Obr. 12 VVU čapu dolnej kladnice

Dovolené napätie v ohybe

$$\sigma_{o \text{ dov } dc} = 0,7 \frac{R_{e \text{ dc}}}{k} \quad (2.23)$$

$$\sigma_{o \text{ dov } dc} = 0,7 \frac{325}{6}$$

$$\sigma_{o \text{ dov } dc} = 37,92 \text{ MPa}$$

Skutočné napätie v ohybe

$$\sigma_{o\ skut\ dc} = \frac{32M_{o3}}{\pi d_{dc}^3} \quad (2.24)$$

$$\sigma_{o\ skut\ dc} = \frac{32 \cdot 45245,83}{\pi \cdot 25^3}$$

$$\sigma_{o\ skut\ dc} = 29,49 \text{ MPa}$$

Zaťaženie od čapu

$$Q_{dc} = m_{dc} \cdot g \quad (2.25)$$

$$Q_{dc} = 0,242 \cdot 9,807$$

$$Q_{dc} = 2,373 \text{ N}$$

KONTROLA NA STRIH A OTLAČENIE

Dovolené napätie v strihu

$$\tau_{dov\ dc} = 0,4 \cdot \frac{R_{e\ dc}}{k} \quad (2.26)$$

$$\tau_{dov\ dc} = 0,4 \cdot \frac{325}{6}$$

$$\tau_{dov\ dc} = 17,67 \text{ MPa}$$

Skutočné napätie v strihu

$$\tau_{skut\ dc} = \frac{4T_3}{\pi \cdot d_{dc}^2} \quad (2.27)$$

$$\tau_{skut\ dc} = \frac{4 \cdot 1965,22}{\pi \cdot 25^2}$$

$$\tau_{skut\ dc} = 4,01 \text{ MPa}$$

Dovolené otláčenie

$$p_{dov\ dc} = 0,9 \frac{R_{e\ dc}}{k} \quad (2.28)$$

$$p_{dov\ dc} = 0,9 \frac{325}{6}$$

$$p_{dov\ dc} = 39,75 \text{ MPa}$$

Skutočné otláčenie

$$p_{skut\ dc} = \frac{T_3}{d_{dc} \cdot t_{db}} \quad (2.29)$$

$$p_{skut\ dc} = \frac{1965,22}{25 \cdot 6}$$

$$p_{skut\ dc} = 13,11 \text{ MPa}$$

2.5 CELKOVE ZAŽAŽENIE OD DOLNEJ KLADNICE

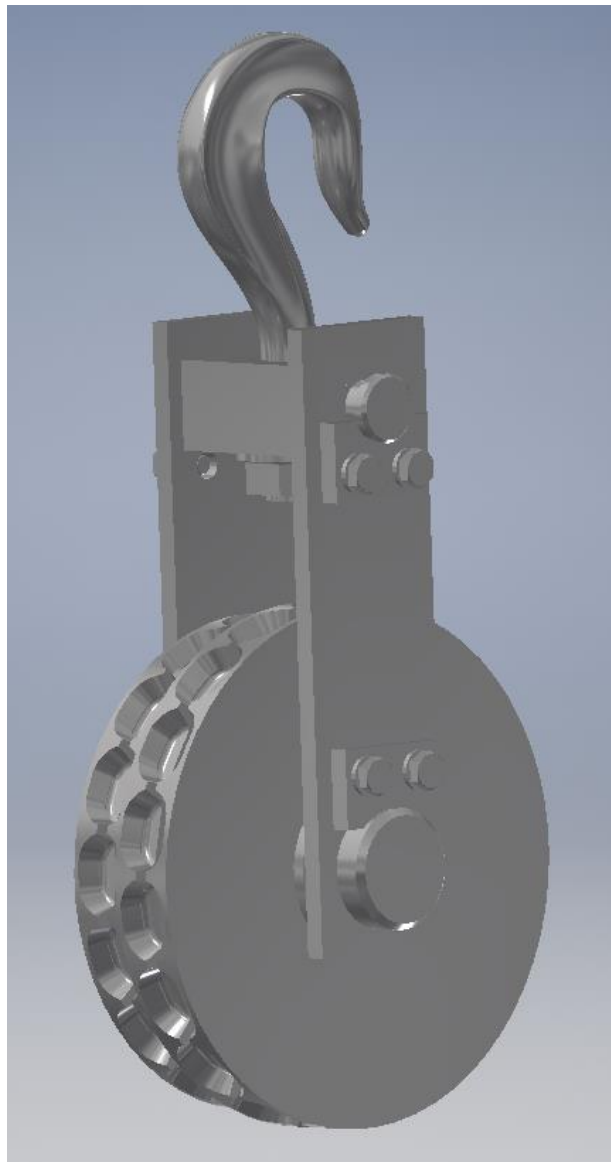
$$Q_d = Q_h + Q_m + Q_{dp} + 2Q_{db} + Q_{dc} + Q_{dk} + 2Q_p \quad (2.30)$$

$$Q_d = 3,099 + 0,324 + 2,658 + 2 \cdot 1,991 + 2,373 + 4,04 + 2 \cdot 0,422$$

$$Q_d = 17,32 \text{ N}$$

3 NÁVRH HORNEJ Kladnice

Horná kladnica sa skladá z reťazovej dvojkladky, čapu, klzného ložiska, bočníc, priečniku, matice a háku. Základom tejto kladnice je reťazová kladka, ktorá zároveň slúži ako prevodový člen. Horná kladnica je zavesená na nosnej konštrukcii.

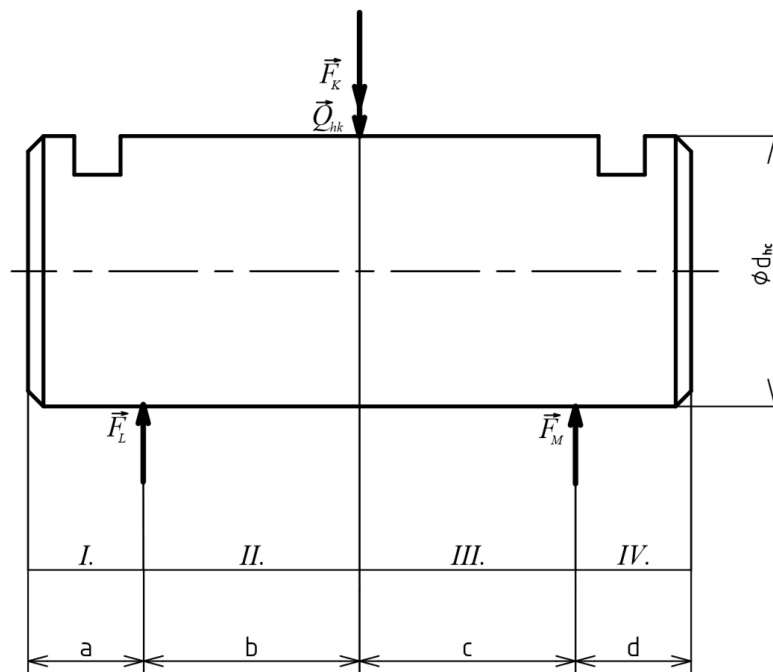


Obr. 13 Horná kladnica

3.1 ČAP

Materiál čapu je volená oceľ E335 (1.0060). Medza klzu tejto ocele je $R_e = 325 \text{ MPa}$.

ZAŤAŽENIE ČAPU



Obr. 14 Čap hornej kladnice

Dané:

$$a = d = 14 \text{ mm}; b = c = 28 \text{ mm}$$

$$F_K = Q_b + Q_d + Q_r + F_z \quad (3.1)$$

$$F_K = 3922,66 + 17,32 + 68,65 + 313,94$$

$$F_K = 4322,57 \text{ N}$$

$$\sum F_x = 0:$$

$$\sum F_z = 0: \quad F_L - Q_{hk} - F_K + F_M = 0$$

$$\sum M_L = 0: \quad -(F_K + Q_{hk})b + F_M(b + c) = 0$$

$$F_M = (F_K + Q_{hk}) \frac{b}{b+c}$$

$$F_M = (4322,57 + 42,21) \frac{28}{28+28}$$

$$F_M = 2182,39 \text{ N}$$

$$F_L = F_K + Q_{hk} - F_M$$

$$F_L = 4322,57 + 42,21 - 2182,39$$

$$F_L = 2182,39 \text{ N}$$

Rezy v oblastiach I. a IV. sú pre výpočet nepodstatné.

REZ V OBLASTI II.:

$$x_2 \in \langle 0; b \rangle$$

$$N_2 = 0$$

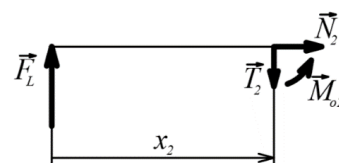
$$T_2 = F_L$$

$$T_2 = 2182,39 \text{ N}$$

$$M_{o_2} = F_L x_2$$

$$M_{o_2} = 2182,39 \cdot 28$$

$$M_{o_2} = 61106,92 \text{ Nmm}$$



REZ V OBLASTI III.:

$$x_3 \in \langle 0; c \rangle$$

$$N_3 = 0$$

$$T_3 = F_L - F_K - Q_{hk}$$

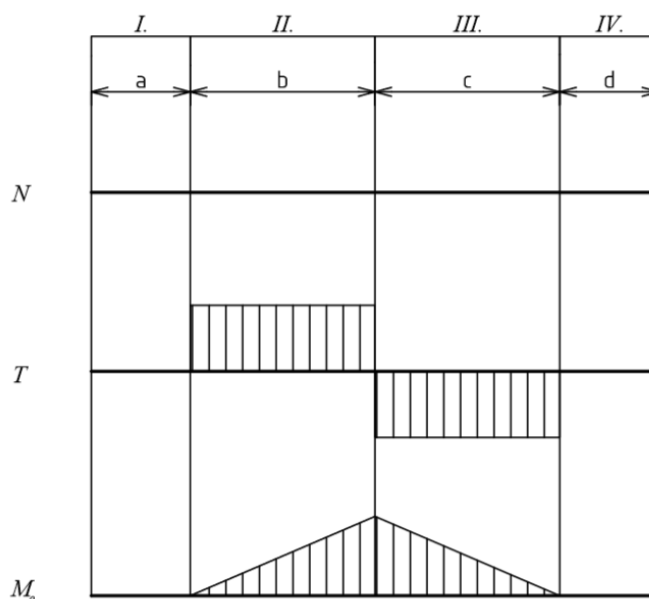
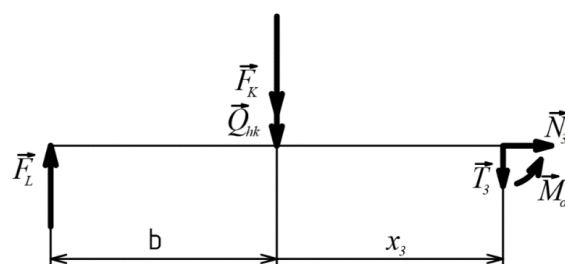
$$T_3 = 2182,39 - 4322,57 - 42,21$$

$$T_3 = -2182,39 \text{ N}$$

$$M_{o_3} = F_L(b + x_3) - (F_K + Q_{hk})x_3$$

$$M_{o_3} = 2182,39(28 + 28) - (4322,57 + 42,21) \cdot 28$$

$$M_{o_3} = 0 \text{ Nmm}$$



Obr. 15 VVU čapu hornej kladnice

Dovolené napätie v ohybe čapu

$$\sigma_{o\,dov\,hc} = 0,70 \frac{R_{e\,hc}}{k} \quad (3.2)$$

$$\sigma_{o\,dov\,hc} = 0,70 \frac{325}{6}$$

$$\sigma_{o\,dov\,hc} = 37,92 \text{ MPa}$$

Skutočné maximálne napätie v čape

$$\sigma_{o\,skut\,hc} = \frac{32M_{o2}}{\pi d_{hc}^3} \quad (3.3)$$

$$\sigma_{o\,skut\,hc} = \frac{32 \cdot 61106,92}{\pi \cdot 35^3}$$

$$\sigma_{o\,skut\,hc} = 14,52 \text{ MPa}$$

Na základe vypočítanej hodnoty je volený priemer čapu $d_{hc} = 35 \text{ mm}$

$$Q_{hc} = m_{hc} \cdot g \quad (3.4)$$

$$Q_{hc} = 0,553 \cdot 9,807$$

$$Q_{hc} = 5,423 \text{ N}$$

KONTROLA NA STRIH A OTLAČENIE

Dovolené napätie v strihu

$$\tau_{dov\,hc} = 0,4 \frac{R_{e\,hc}}{k} \quad (3.5)$$

$$\tau_{dov\,hc} = 0,4 \frac{325}{6}$$

$$\tau_{dov\,hc} = 21,6 \text{ MPa}$$

Skutočné napätie v strihu

$$\tau_{skut\,hc} = \frac{4F_L}{\pi d_{hc}^2} \quad (3.6)$$

$$\tau_{skut\,hc} = \frac{4 \cdot 2182,39}{35^2 \pi}$$

$$\tau_{skut\,hc} = 2,27 \text{ MPa}$$

Dovolené otláčenie

$$p_{dov\,hc} = 0,9 \frac{R_{e\,hc}}{k} \quad (3.7)$$

$$p_{dov\,hc} = 0,9 \frac{325}{6}$$

$$p_{dov\,hc} = 48,75 \text{ MPa}$$

Skutočné otláčenie

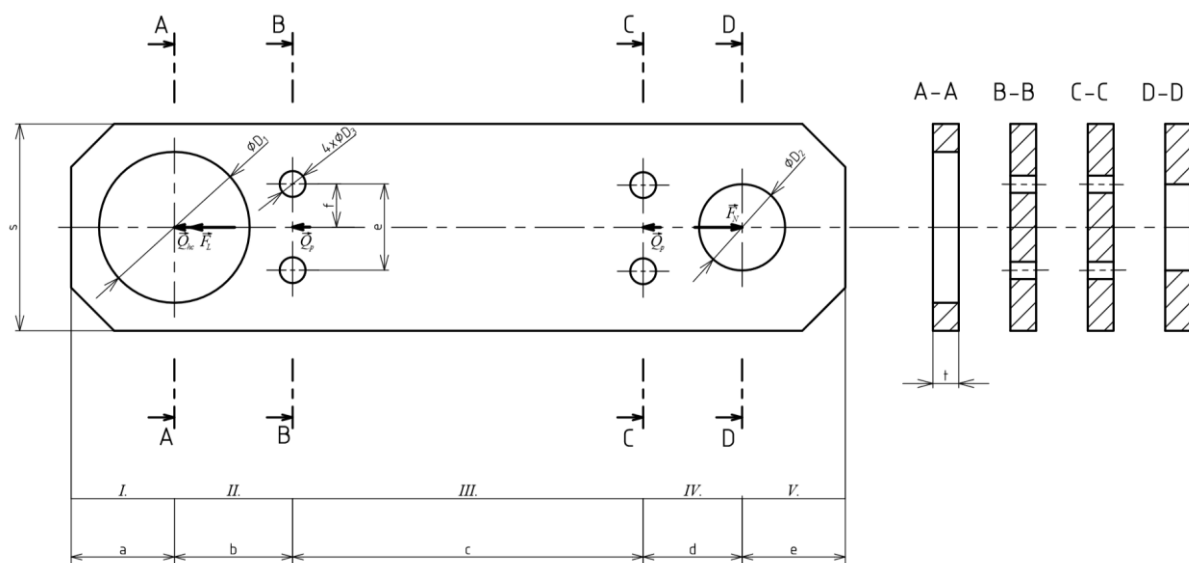
$$p_{skut\ hc} = \frac{F_L}{d_{hc} \cdot t_{hb}} \quad (3.8)$$

$$p_{skut\ hc} = \frac{2182,39}{35 \cdot 6}$$

$$p_{skut\ hc} = 10,39 \text{ MPa}$$

3.2 BOČNICA

Materiál bočnice je volená oceľ S355J2 (1.0577). Medza klzu tejto ocele je $R_e = 355 \text{ MPa}$.



Obr.16 Bočnica hornej kladnice

$$a = 24 \text{ mm}; b = 27,5 \text{ mm}; c = 81,5 \text{ mm}; d = 23 \text{ mm}; e = 24 \text{ mm}; t = 6 \text{ mm}$$

ZAŤAŽENIE BOČNICE

$$\sum F_x = 0: \quad -\frac{Q_{hc}}{2} - F_L - Q_p - Q_p + F_N = 0$$

$$F_N = \frac{5,42}{2} + 2182,39 + 2 \cdot 0,42$$

$$F_N = 2185,94 \text{ N}$$

$$\sum F_z = 0:$$

$$\sum M_B = 0:$$

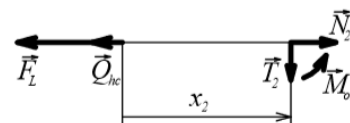
Rezy v oblastiach I. a IV. sú pre výpočet nepodstatné.

REZ V OBLASTI II.:

$$x_2 \in \langle 0; b \rangle$$

$$N_2 = F_L + \frac{Q_{hc}}{2}$$

$$N_2 = 2182,39 + \frac{5,42}{2}$$

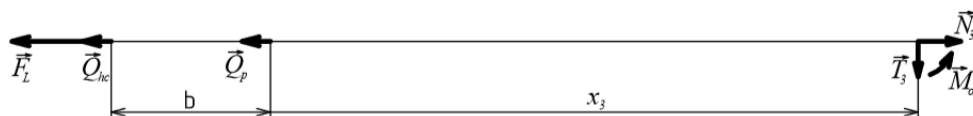


$$N_2 = 2185,1 \text{ N}$$

$$T_2 = 0$$

$$M_{o_2} = 0$$

REZ V OBLASTI III.:



$$x_3 \in \langle 0; c \rangle$$

$$N_3 = F_L + \frac{Q_{hc}}{2} + Q_p$$

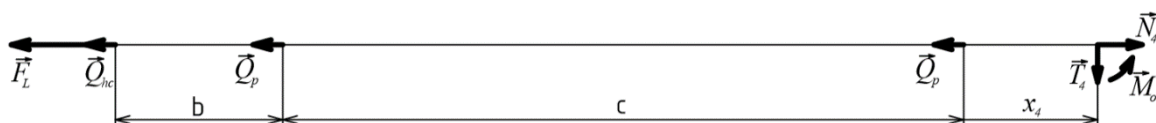
$$N_3 = 2182,39 + \frac{5,42}{2} + 0,42$$

$$N_3 = 2185,52 \text{ N}$$

$$T_3 = 0$$

$$M_{o_3} = 0$$

REZ V OBLASTI IV.:



$$x_4 \in \langle 0; d \rangle$$

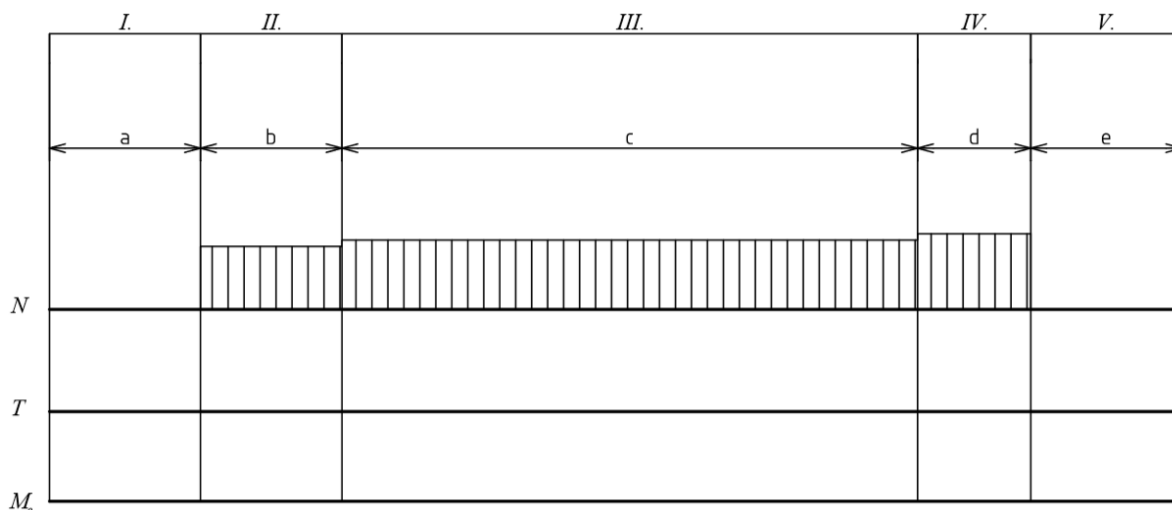
$$N_4 = F_L + \frac{Q_{hc}}{2} + Q_p + Q_p$$

$$N_4 = 2182,39 + \frac{5,42}{2} + 0,42 + 0,42$$

$$N_4 = 2185,94 \text{ N}$$

$$T_4 = 0$$

$$M_{o_4} = 0$$



Obr. 17 VVU bočnice hornej kladnice

Dovolené napätie

$$\sigma_{dov\ hb} = 0,60 \frac{R_{e\ hb}}{k} \quad (3.9)$$

$$\sigma_{dov\ hb} = 0,60 \frac{355}{6}$$

$$\sigma_{dov\ hb} = 35,5 \text{ MPa}$$

Skutočné maximálne napätie v ťahu

$$\sigma_{skut\ hb} = \frac{N_2}{t_{hb} \cdot (s_{hb} - d_{hc})} \quad (3.10)$$

$$\sigma_{skut\ hb} = \frac{2185,1}{6 \cdot (48 - 35)}$$

$$\sigma_{skut\ hb} = 28,02 \text{ MPa}$$

Zaťaženie od bočnice

$$Q_{hb} = m_{hb} \cdot g \quad (3.11)$$

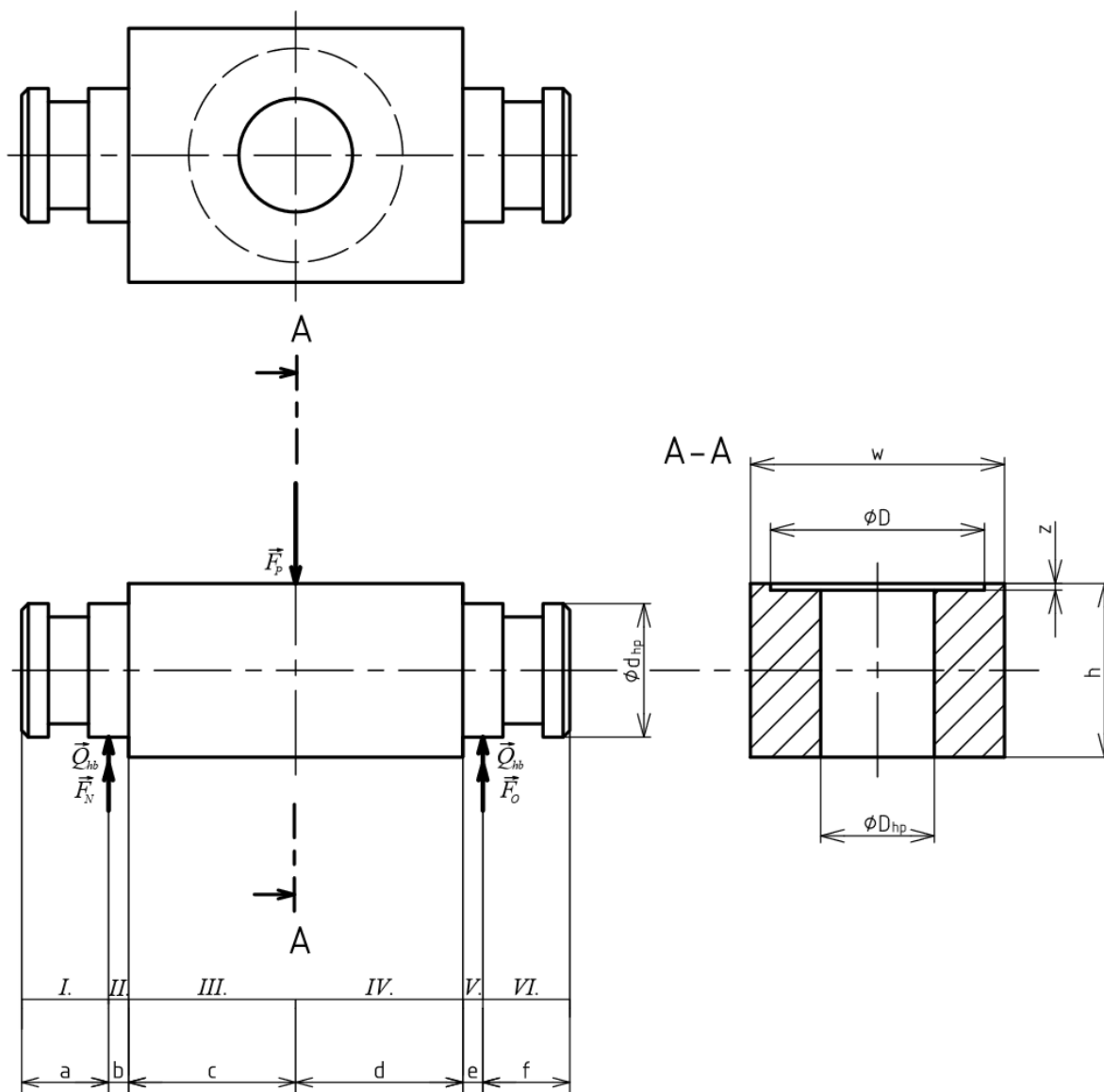
$$Q_{hb} = 0,347 \cdot 9,807$$

$$Q_{hb} = 3,57 \text{ N}$$

3.3 PRIEČNIK

Materiál priečniku je volená oceľ S235JR (1.0038). Medza klzu tejto ocele je $R_{e\ hp} = 265$ MPa.

ZAŤAŽENIE PRIEČNIKU



Obr. 18 Priečnik hornej kladnice

Dané:

$w = 38$ mm; $h = 26$ mm; $z = 1$ mm; $\phi D_{hp} = 17$ mm; $\phi D = 32$ mm; $\phi d_{hp} = 20$ mm; $a = f = 7$ mm; $b = e = 3$ mm; $c = d = 25$ mm

$$\sum F_x = 0:$$

$$\sum F_z = 0: \quad F_N + Q_{hb} - F_P + F_D + Q_{hb} = 0$$

$$\sum M_N = 0: \quad -F_P(b + c) + (Q_{hb} + F_O)(b + c + d + e) = 0$$

$$F_P = (Q_{hb} + F_O) \frac{(b+c+d+e)}{(b+c)}$$

$$F_P = (3,57 + 2185,94) \frac{3+25+25+3}{3+25}$$

$$F_P = 4379,02 \text{ N}$$

Rezy v oblastiach I. a VI. sú pre výpočet nepodstatné.

REZ V OBLASTI II.:

$$x_2 \in \langle 0; b \rangle$$

$$N_2 = 0$$

$$T_2 = Q_{hb} + F_N$$

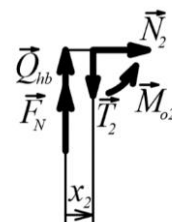
$$T_2 = 3,57 + 2185,94$$

$$T_2 = 2189,51 \text{ N}$$

$$M_{o2} = (Q_{hb} + F_N)x_2$$

$$M_{o2} = (3,57 + 2185,94) \cdot 3$$

$$M_{o2} = 6568,53 \text{ Nmm}$$



REZ V OBLASTI III.:

$$x_3 \in \langle 0; c \rangle$$

$$N_3 = 0$$

$$T_3 = Q_{hb} + F_N$$

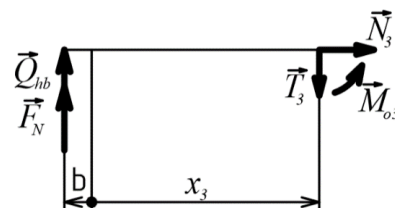
$$T_3 = 3,57 + 2185,94$$

$$T_3 = 2189,51 \text{ N}$$

$$M_{o3} = (Q_{hb} + F_N)(b + x_3)$$

$$M_{o3} = (3,57 + 2185,94)(3 + 25)$$

$$M_{o3} = 61306,28 \text{ Nmm}$$



REZ V OBLASTI IV.:

$$x_4 \in \langle 0; d \rangle$$

$$N_4 = 0$$

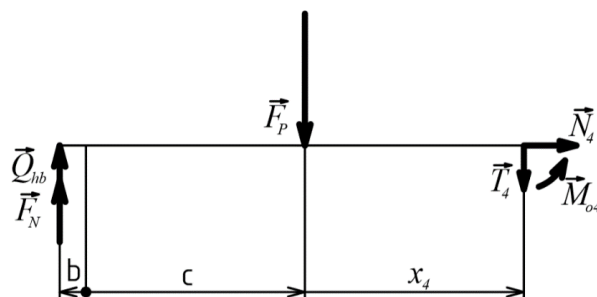
$$T_4 = Q_{hb} + F_N - F_P$$

$$T_4 = 3,57 + 2185,94 - 4379,02$$

$$T_4 = -2189,51 \text{ N}$$

$$M_{o4} = (Q_{hb} + F_N)(b + c + x_4) - F_P x_4$$

$$M_{o4} = (3,57 + 2184,01)(3 + 25 + 25) - 4375,15 \cdot 25$$



$$M_{o4} = 6568,53 \text{ Nmm}$$

REZ V OBLASTI V.:

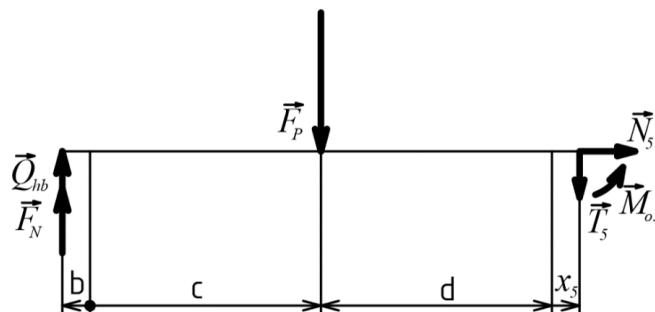
$$x_5 \in \langle 0; e \rangle$$

$$N_5 = 0$$

$$T_5 = Q_{hb} + F_N - F_P$$

$$T_5 = 3,57 + 2185,94 - 4379,02$$

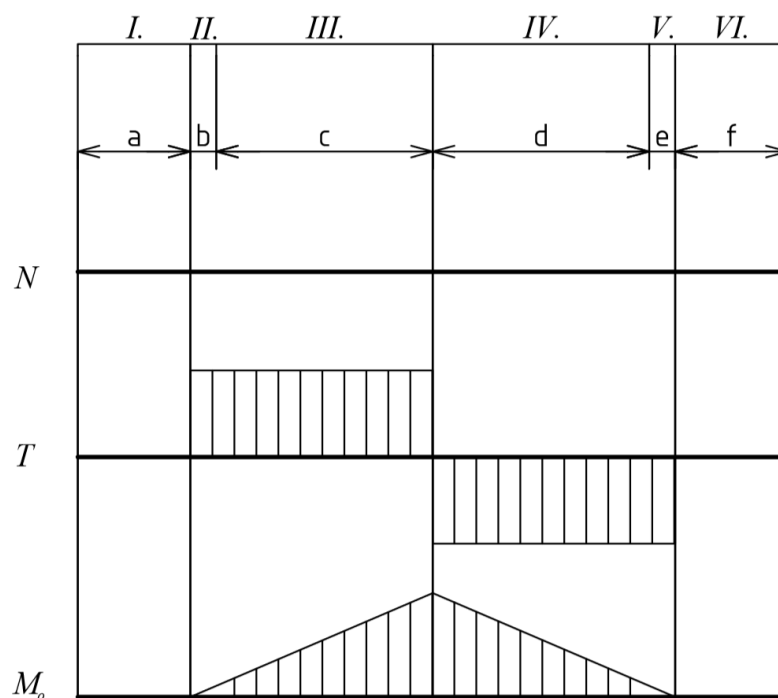
$$T_5 = -2189,51 \text{ N}$$



$$M_{o5} = (Q_{hb} + F_N)(b + c + d + x_5) - F_P(d + x_5)$$

$$M_{o5} = (3,57 + 2184,01)(3 + 25 + 25 + 3) - 4375,15 \cdot (25 + 3)$$

$$M_{o5} = 0 \text{ Nmm}$$



Obr. 19 VVU priečnika hornej kladnice

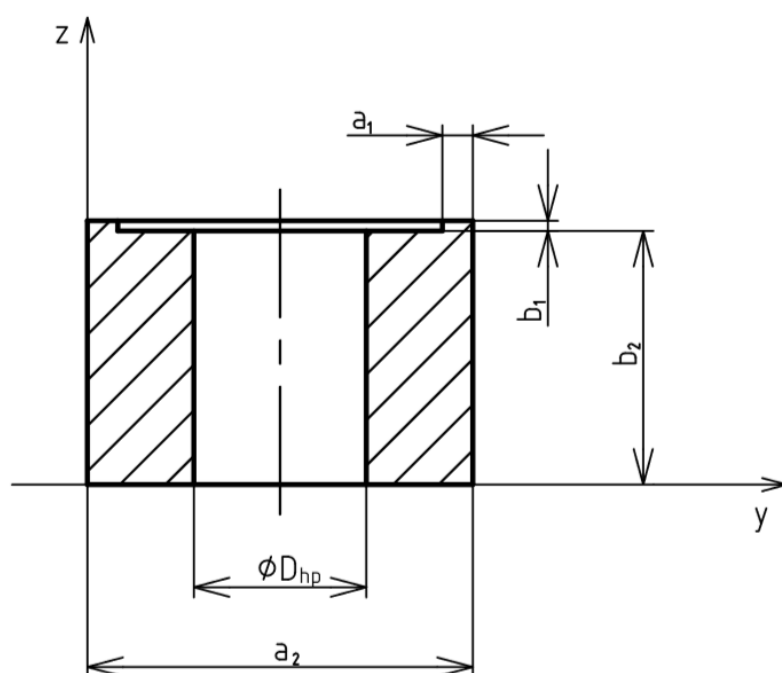
Následne je volený postup ako pri predchádzajúcom priečniku.

Dovolené napätie v ohybe

$$\sigma_{o\text{ dov } dp} = 0,7 \cdot \frac{R_{e\text{ hp}}}{k} \quad (3.12)$$

$$\sigma_{o\text{ dov } dp} = 0,7 \cdot \frac{265}{6}$$

$$\sigma_{o\text{ dov } dp} = 30,91 \text{ MPa}$$



Obr. 20 Kritický prierez priečnika hornej kladnice

Dané:

$$a_1 = 3 \text{ mm}; b_1 = 1 \text{ mm}; a_2 = 38 \text{ mm}; b_2 = 27 \text{ mm}; D_{hp} = 17 \text{ mm}$$

Určenie z súradnice ťažiska

$$T_{z \text{ hp}} = \frac{2a_3b_3\left(b_4 + \frac{b_3}{2}\right) + (a_4 - D_{hp})b_4 \frac{b_4}{2}}{a_3b_3 + (a_4 - d_{d \text{ hp}})b_4} \quad (3.13)$$

$$T_{z \text{ hp}} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 1 \cdot \left(27 + \frac{1}{2}\right) + (38 - 17) \cdot 27 \cdot \frac{27}{2}}{3 \cdot 1 + (38 - 17) \cdot 27}$$

$$T_{z \text{ hp}} = 13,65 \text{ mm}$$

Určenie vzdialenosti ťažísk jednotlivých plôch od ťažiska prierezu

$$t_{1 \text{ hp}} = b_2 + \frac{b_1}{2} - T_z \quad (3.14)$$

$$t_{1 \text{ hp}} = 27 + \frac{1}{2} - 13,65$$

$$t_{1 \text{ hp}} = 13,85 \text{ mm}$$

$$t_{2 \text{ hp}} = T_z - \frac{b_2}{2} \quad (3.15)$$

$$t_{2 \text{ hp}} = 13,65 - \frac{27}{2}$$

$$t_{2 \text{ hp}} = 0,1466 \text{ mm}$$

Určenie kvadratického momentu prierezu k osi y

$$J_{y\ hp} = \frac{a_3 b_3^3}{12} + a_3 b_3 t_3^2 + \frac{(a_4 - D_{hp}) b_4^3}{12} + (a_4 - D_{hp}) b_4 t_4^2 \quad (3.16)$$

$$J_{y\ hp} = \frac{3 \cdot 1^3}{12} + 3 \cdot 1 \cdot 13,85^2 + \frac{(38 - 17) \cdot 27^3}{12} + (38 - 17) \cdot 23 \cdot 0,1466^2$$

$$J_{y\ hp} = 35033,44 \text{ mm}^4$$

Určenie vzdialenosti krajných vlákien od ťažiska

$$e_{1\ hp} = t_{1\ hp} + \frac{b_1}{2} \quad (3.17)$$

$$e_{1\ hp} = 13,85 + \frac{1}{2}$$

$$e_{1\ hp} = 14,35 \text{ mm}$$

$$e_{2\ hp} = t_{2\ hp} + \frac{b_2}{2} \quad (3.18)$$

$$e_{2\ hp} = 0,1466 + \frac{27}{2}$$

$$e_{2\ hp} = 13,65 \text{ mm}$$

Určenie prierezových modulov

$$W_{o1\ hp} = \frac{J_{y\ hp}}{e_{1\ hp}} \quad (3.19)$$

$$W_{o1\ hp} = \frac{35033,44}{14,35}$$

$$W_{o1\ hp} = 2440,78 \text{ mm}^3$$

$$W_{o2\ hp} = \frac{J_{y\ hp}}{e_{2\ hp}} \quad (3.20)$$

$$W_{o2\ hp} = \frac{35033,44}{13,65}$$

$$W_{o2\ hp} = 2567,19 \text{ mm}^3$$

Určenie napätí v krajných vláknach

$$\sigma_{o1\ hp} = \frac{M_{o3}}{W_{o1\ hp}} \quad (3.21)$$

$$\sigma_{o1\ hp} = \frac{61249,06}{2440,78}$$

$$\sigma_{o1\ hp} = 25,09 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{o2\ hp} = \frac{M_{o3}}{W_{o2\ hp}} \quad (3.22)$$

$$\sigma_{o2\ hp} = \frac{61249,06}{2567,19}$$

$$\sigma_{o2\ hp} = 23,86 \text{ MPa}$$

Zaťaženie od priečniku

$$Q_{hp} = m_{hp} \cdot g \quad (3.23)$$

$$Q_{hp} = 0,387 \cdot 9,807$$

$$Q_{hp} = 3,795 \text{ N}$$

KONTROLA NA STRIH A OTLAČENIE

Dovolené napätie v strihu

$$\tau_{dov\ hp} = 0,4 \frac{R_{e\ hp}}{k} \quad (3.24)$$

$$\tau_{dov\ hp} = 0,4 \frac{265}{6}$$

$$\tau_{dov\ hp} = 17,6 \text{ MPa}$$

Skutočné napätie v strihu

$$\tau_{skut\ hp} = \frac{4T_2}{\pi d_{hp}^2} \quad (3.25)$$

$$\tau_{skut\ hp} = \frac{4 \cdot 2189,51}{20^2 \pi}$$

$$\tau_{skut\ hp} = 6,97 \text{ MPa}$$

Dovolené otláčenie

$$p_{dov\ hp} = 0,9 \frac{R_{e\ hp}}{k} \quad (3.26)$$

$$p_{dov\ hp} = 0,9 \frac{265}{6}$$

$$p_{dov\ hp} = 39,75 \text{ MPa}$$

Skutočné otláčenie

$$p_{skut\ hp} = \frac{T_2}{d_{hp} \cdot t_{hb}} \quad (3.27)$$

$$p_{skut\ hp} = \frac{2189,51}{20 \cdot 6}$$

$$p_{skut\ hp} = 18,25 \text{ MPa}$$

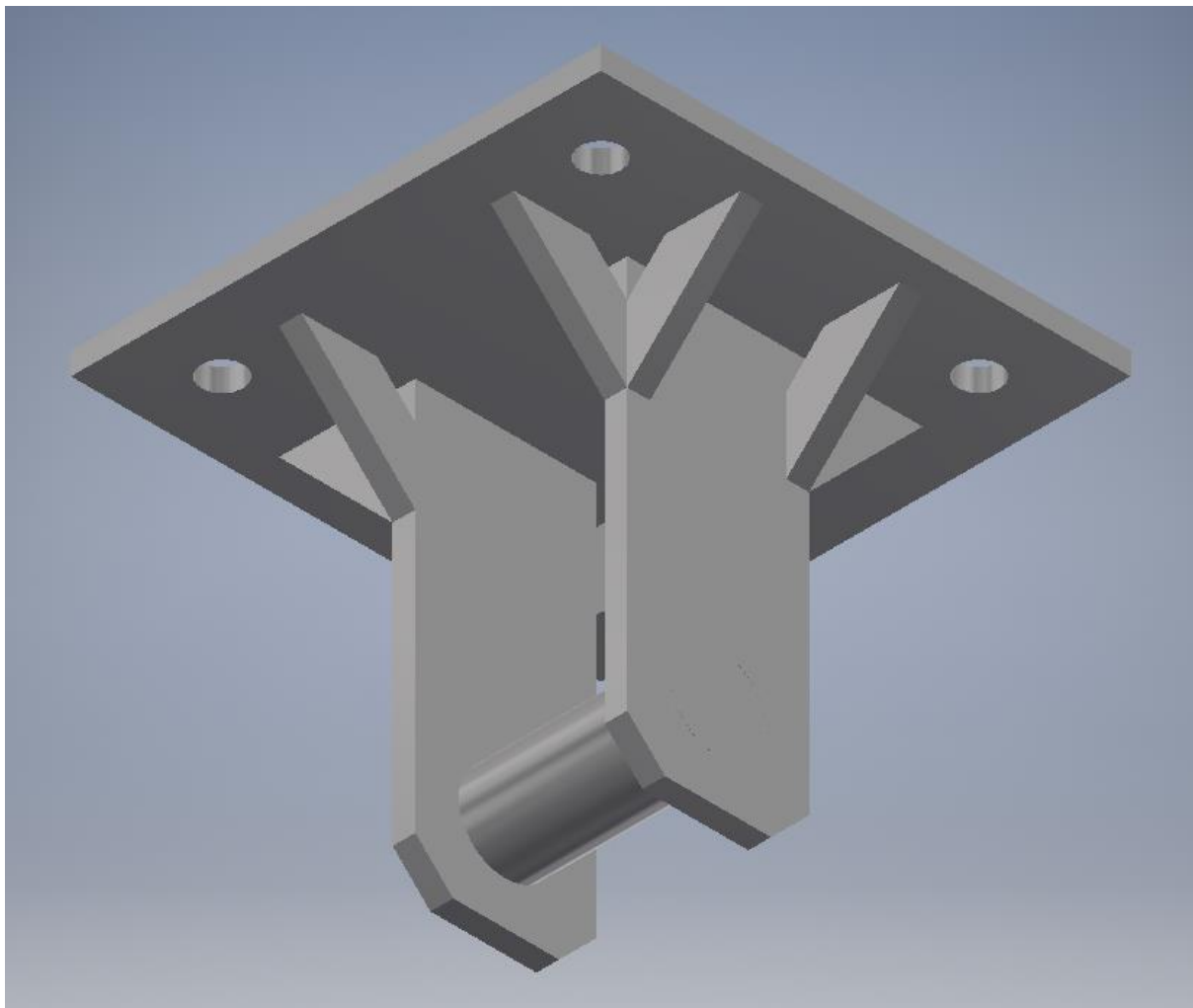
3.4 HÁK

Hák je volený rovnakých rozmerov ako na dolnej kladnici, s triedou pevnosti T.

4 NOSNEÁ KONŠTRUKCIA

Materiál nosnej konštrukcie je volená oceľ S355J2. Medza klzu tejto ocele je $R_{e\,nc} = 345$ MPa. Celá konštrukcia je zváraná.

Nosná konštrukcia je pevne ukotvená v nosnej priečke stropu pomocou chemickej kotvy Den Braven VINYLSTER SF [8].



Obr. 21 Nosná konštrukcia

ZÁVER

V tejto bakalárskej práci bola na základe zadaných parametrov navrhnutá konštrukcia samosvorného diferenciálneho kladkostroja. Následne bola zvolená zváraná článková reťaz a boli navrhnuté kladky. Bol vypracovaný prvý 3D model kladkostroja a navrhnuté rozmery. V ďalšom kroku boli overené všetky súčiastky z pevnostného hľadiska a boli navrhnuté konštrukčné prvky, ako ložiská a zaistenie bočníc. Na záver bola navrhnutá nosná konštrukcia a vypracovaná technická dokumentácia.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] BIGOŠ, Peter, KULKA, Jozef, KOPAS, Melichar, MANTIČ, Martin. *Teória a stavba zdvíhacích a dopravných zariadení*. 1. vydanie. Košice: TU v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2012. ISBN 978-80-553-1187-6
- [2] SHIGLEY, Joseph Edward, MISCHKE, Charles R., BUDYNAS, Richard G. *Konstruování strojních součástí*. 1. vydanie. Brno: VUTUM, 2010. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [3] ČSN EN 13157+A1. Jeřáby – Bezpečnost – Ručně poháněné jeřáby. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [4] DIN 15401. Single hooks. [online]. 1982 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z <https://www.scribd.com/doc/128728330/DIN-15401-p1-pdf>
- [5] FEM 9.511. Classification of mechanisms. [online]. 1986 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z <https://www.scribd.com/document/249510431/FEM-9-511>
- [6] Vingu. [online]. 2013 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z <http://www.vingu.cz/katalog/kovane-haky-dle-din-15401-15402>
- [7] Feron. [online]. 2017 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z <https://online.ferona.cz/vyhledavani/307>
- [8] Den Braven. [online]. 2017 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z <https://www.denbraven.sk/produkt/chemicka-kotva-vinylster-sf/>
- [9] SKF. [online]. 2015 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z <https://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/plain-bearings/product-tables-plain/index.html>
- [10] Loctite. [online]. 2019 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z https://www.henkel-adhesives.com/us/en/product/threadlockers/loctite_262.html
- [11] Lana-Pecko. [online]. 2011 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z <http://www.lana-pecko.cz/sortiment/retezy/retezy-pro-kladkostroje>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

D_{1z}	[mm]	Malý priemer závitú matice
$d_{d\ hp}$	[mm]	Priemer diery v priečniku hornej kladnice
d_{dc}	[mm]	Priemer čapu dolnej kladnice
d_{dh}	[mm]	Priemer drieku háku
D_{dk}	[mm]	Priemer roztečnej kružnice voľnej kladky
D_{dp}	[mm]	Priemer diery v dolnom priečniku
d_{dp}	[mm]	Priemer čapu dolnej kladnice
d_{hc}	[mm]	Priemer čapu hornej kladnice
D_m	[mm]	Priemer roztečnej kružnice menšieho kola hornej kladky
d_r	[mm]	Priemer hrúbky článkov
d_{str}	[mm]	Stredný priemer závitú matice
D_v	[mm]	Priemer roztečnej kružnice väčšieho kola hornej kladky
D_z	[mm]	Veľký priemer závitú matice
$e_{1\ dp}$	[mm]	Vzdialenosť krajného vlákna od ťažiska
$e_{1\ hp}$	[mm]	Vzdialenosť krajného vlákna od ťažiska
$e_{2\ dp}$	[mm]	Vzdialenosť krajného vlákna od ťažiska
$e_{2\ hp}$	[mm]	Vzdialenosť krajného vlákna od ťažiska
h_m	[mm]	Výška matice
h_z	[mm]	Nosná výška závitú matice
h_z	[mm]	Výška zdvihu kladkostroja
i	[-]	Počet nosných vetiev
$J_{y\ dp}$	[mm ⁴]	Kvadratický moment plochy kritického priemeru priečnika dol. kladnice
$J_{y\ hp}$	[mm ⁴]	Kvadratický moment plochy kritického priemeru priečnika hor. kladnice
k	[-]	Bezpečnosť kladkostroja
l_r	[m]	Dĺžka reťaze
$M_{0\ B}$	[Nmm]	Ohybový moment
m_b	[kg]	Hmotnosť bremena
m_{db}	[kg]	Hmotnosť bočnice dolnej kladnice
m_{dc}	[kg]	Hmotnosť čapu dolnej kladnice
m_h	[kg]	Hmotnosť háku
m_{dk}	[kg]	Hmotnosť voľnej kladky
m_{hp}	[kg]	Hmotnosť priečnika hornej kladnice

m_{dp}	[kg]	Hmotnosť priečnika dolnej kladnice
m_{hb}	[kg]	Hmotnosť bočnice hornej kladnice
m_{hc}	[kg]	Hmotnosť horného čapu
m_m	[kg]	Váha matice
M_{ol}	[Nmm]	Maximálny ohybový moment
m_r	[kg]	Hmotnosť reťaze
m_{rm}	[kg.m ⁻¹]	Merná hmotnosť reťaze
n_m	[-]	Počet závitov matice
n_{min}	[-]	Minimálny počet závitov matice
$p_{dov\ dc}$	[MPa]	Dovolené otláčenie čapu dolnej kladnice
$p_{dov\ dp}$	[MPa]	Dovolené otláčenie čapu priečnika dolnej kladnice
$p_{dov\ hc}$	[MPa]	Dovolené otláčenie čapu hornej kladnice
$p_{dov\ hp}$	[MPa]	Dovolené otláčenie čapu hornej kladnice
$p_{dov\ m}$	[MPa]	Dovolené otočenie v závite matice
P_m	[mm]	Stúpanie matice
$p_{skut\ dp}$	[MPa]	Skutočné otláčenie čapu priečnika dolnej kladnice
$p_{skut\ hc}$	[MPa]	Skutočné otláčenie čapu hornej kladnice
Q_b	[N]	Zaťaženie od bremena
Q_d	[N]	Zaťaženie od hmotnosti dolnej kladnice
Q_{db}	[N]	Zaťaženie od hmotnosti bočnice dolnej kladnice
Q_{dc}	[N]	Zaťaženie od hmotnosti čapu dolnej kladnice
Q_{dh}	[N]	Zaťaženie od hmotnosti háku
Q_{dk}	[N]	Zaťaženie od voľnej kladky
Q_{dp}	[N]	Zaťaženie od hmotnosti dolného priečnika
Q_{hb}	[N]	Zaťaženie od hmotnosti bočnice hornej kladnice
Q_{hc}	[N]	Zaťaženie od hmotnosti horného čapu
Q_{hp}	[N]	Zaťaženie od hmotnosti priečnika hornej kladnice
Q_m	[N]	Zaťaženie od hmotnosti matice
Q_p	[N]	Zaťaženie od poistenia
Q_{pd}	[N]	Zaťaženie od hmotnosti poistky
Q_{ps}	[N]	Zaťaženie od hmotnosti skrutky poistenia
Q_r	[N]	Zaťaženie od hmotnosti reťaze
Re_{db}	[MPa]	Medza klzu materiálu bočnice dolnej kladnice

Re_{dc}	[MPa]	Medza klzu materiálu čapu dolnej kladnice
Re_{dh}	[MPa]	Medza klzu materiálu háku dolnej kladnice
Re_{dp}	[MPa]	Medza klzu materiálu dolného priečnika
Re_{dp}	[MPa]	Medza klzu materiálu priečnika dolnej kladnice
Re_{hb}	[MPa]	Medza klzu materiálu bočnice hornej kladnice
Re_{hc}	[MPa]	Medza klzu materiálu čapu hornej kladnice
Re_m	[MPa]	Medza klzu materiálu matice
s_{db}	[mm]	Šírka bočnice dolnej kladnice
$\sigma_{dov db}$	[MPa]	Maximálne dovolené napätie v ťahu bočnice dolnej kladnice
$\sigma_{dov dc}$	[MPa]	Dovolené napätie v ohybe čapu dolnej kladnice
$\sigma_{dov hb}$	[MPa]	Dovolené napätie v ťahu bočnice hornej kladnice
$\sigma_{dov hc}$	[MPa]	Dovolené napätie v ohybe čapu hornej kladnice
s_{hk}	[mm]	Šírka náboja hornej kladky
s_{ndk}	[mm]	Šírka náboja dolnej kladky
$\sigma_{o dov dp}$	[MPa]	Dovolené napätie v ohybe priečnika dolnej kladnice
$\sigma_{o dov hp}$	[MPa]	Dovolené napätie v ohybe priečnika hornej kladnice
$\sigma_{o dp1}$	[MPa]	Maximálne napätie v krajnom vlákne priečnika dolnej kladnice
$\sigma_{o dp2}$	[MPa]	Maximálne napätie v krajnom vlákne priečnika dolnej kladnice
$\sigma_{o hp1}$	[MPa]	Maximálne napätie v krajnom vlákne priečnika hornej kladnice
$\sigma_{o hp2}$	[MPa]	Maximálne napätie v krajnom vlákne priečnika hornej kladnice
$\sigma_{o skut dc}$	[MPa]	Skutočné maximálne napätie v ohybe dolného čapu
$\sigma_{o skut dc}$	[MPa]	Skutočné maximálne napätie v ohybe horného čapu
$\sigma_{skut db}$	[mm]	Skutočné maximálne napätie dolnej bočnice
$\sigma_{skut hb}$	[mm]	Skutočné maximálne napätie hornej bočnice
$t_{1 dp}$	[mm]	Vzdialenosť ťažiska plochy od ťažiska obrazca
$t_{1 hp}$	[mm]	Vzdialenosť ťažiska plochy od ťažiska obrazca
$t_{2 dp}$	[mm]	Vzdialenosť ťažiska plochy od ťažiska obrazca
$t_{2 hp}$	[mm]	Vzdialenosť ťažiska plochy od ťažiska obrazca
t_{db}	[mm]	Hrúbka dolnej bočnice
t_{hb}	[mm]	Hrúbka bočnice hornej kladnice
t_r	[mm]	Rozteč reťaze
$T_z dp$	[mm]	z-súradnica ťažiska plochy
$T_z hp$	[mm]	z-súradnica ťažiska plochy

$W_{0\ dp1}$	[mm ³]	Prierezový modul kritického miesta priečnika dolnej kladnice
$W_{0\ dp2}$	[mm ³]	Prierezový modul kritického miesta priečnika dolnej kladnice
$W_{0\ hp1}$	[mm ³]	Prierezový modul kritického miesta priečnika hornej kladnice
$W_{0\ hp2}$	[mm ³]	Prierezový modul kritického miesta priečnika hornej kladnice
$\sigma_{dk\ dov}$	[MPa]	Dovolené napätie v drieku háku

SEZNAM PŘÍLOH

Výkresová dokumentácia:

Kladkostroj	zostava	DK-00-00	I
Bočnica dolnej kladnice	výrobný výkres	DK-03-03	II
Kladka dolnej kladnice	výrobný výkres	DK-03-01	III
Kladkostroj	zoznam položiek	DK-00-00	IV-V